

王颖俐. 基于多元统计分析的火灾灾后抢险物资配送模型研究[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 53–56. [WANG Yingli. Research on emergency material distribution model after fire disaster based on multivariate statistical analysis[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 53–56. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.010.]

基于多元统计分析的火灾灾后抢险物资配送模型研究^{*}

王颖俐

(长治学院 数学系, 山西 长治 046000)

摘 要: 传统物资配送方法存在配送物资效率低、配送成本高等缺点, 为了及时确定抢险物资应急救援路线, 向火灾受灾点快速配送抢险物资, 该文提出基于多元统计分析的火灾灾后抢险物资配送模型。建模时采用多元统计分析法分析火灾受灾点救援需求和配送路线连通随机性, 以及救援出发点对受灾点的最大覆盖范围的限制, 利用加权贝叶斯算法将物资配送多目标规划问题转变成单目标规划问题, 建立抢险物资配送单目标规划模型; 运用遗传算法对模型求解, 并采用惩罚函数处理模型中的约束条件, 实现物资在受灾点之间均衡分配。

关键词: 多元统计分析; 火灾; 抢险物资; 配送模型

中图分类号: TP393; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)04-0053-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.010

当发生重大火灾时, 受灾地区物资储量原因可能无法满足受灾地区的需要, 抢险物资的配送在整个火灾灾后的救援中具有重要地位, 需要其他抢险物资存储点向受灾地区运送大量的抢险物资来缓解火灾对受灾地区造成的影响。因此, 研究火灾灾后抢险物资配送模型具有重要的现实意义。

当前国内研究者提出将智能算法引入到火灾灾后抢险物资配送中, 取得了一定的成效。其中, 付春光等^[1]提出基于多配送情形下的救援物资配送模型。将若干物资中转中心和若干个物资需求点构成供应链, 在多种假设下建立以时间效率、物资消耗双目标函数模型, 然后优选出抢险物资的配送方案。黄辉等^[2]提出基于实时路况信息的灾后应急配送方案。根据火灾灾害发生后次生事件的随机性, 调整抢险物资运送的路线, 针对抢险物资配送道路网络中不同路段的实时情况, 运用改进的最短路径算法及次短路径算法给出最优配送抢险物资的路径及临界值, 在救援物资在兼顾风险控制的情况下, 以最快速地配送物资。

上述传统物资配送方法存在配送物资效率低、配送成本高等缺点。对此, 本文提出基于多元统计分析的火灾灾后抢险物资配送模型。通过实验分析, 旨在提高配送物资的效率, 降低配送成本。

1 火灾灾后抢险物资配送模型

采用多元统计分析方法建立火灾灾后抢险物资配送模型, 配送网络构建过程中考虑火灾受灾

点、抢险物资存储点、抢险物资车辆配送点, 网络体系如图1所示。

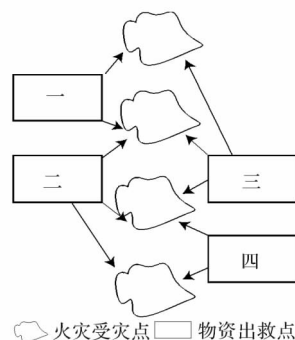


图1 火灾灾后抢险物资配送体系

在火灾发生之前, 决策者在既有的抢险物资配送车辆配送点上安排配送抢险物资车辆的数量和配送车辆类型^[3]; 在火灾发生之后, 决策者要在恰当的时间内, 快速做出前往火灾受灾点物资配送、配送车辆路径选取的决定。将抢险物资决策过程分为两个阶段: 灾前阶段和灾后阶段, 两个阶段是互相对应。火灾发生之前的抢险物资配送车辆数目与类型的安排称为火灾灾前阶段决策; 在火灾发生之后的车辆配送路径选择和抢险物资决策称为火灾灾后阶段决策。

除此之外, 采用多元统计分析法通过对以往火灾受灾点观察统计出 n 个固定时段的火灾灾情。将第二阶段也就是火灾灾后阶段划分为 n 固定时间段, 决策者通过观察某固定时间段的灾情情况对

^{*} 收稿日期: 2019-06-03

修回日期: 2019-07-23

基金项目: 国家级大学生创新创业训练项目(2019588); 长治学院课题项目(JC201912)

作者简介: 王颖俐(1987-), 女, 山西临汾人, 硕士, 讲师, 研究方向为统计学、排队论、数学建模等相关方向。

E-mail: wyl381279464@126.com

目前已经掌握的灾情信息进行更新与修正,并选择是继续等待还是安排车辆配送物资(图2)。因此,本文提出火灾灾后抢险物资配送模型是建立在 n 个观察时刻上的单次决策问题^[4],设计成两阶段补偿的随机规划模型。

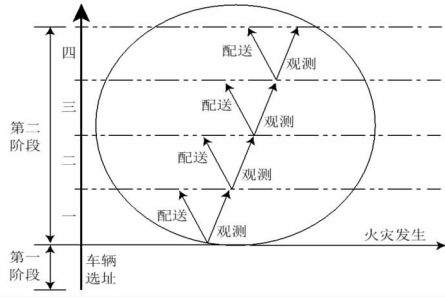


图2 决策结构图

1.1 基于多元统计分析法的模型假设

(1) 假设存在火灾灾害情景,灾害点所需要的物资需求和抢险物资配送车辆路线连通性的选取要通过离散的火灾灾害情景来表示。

(2) 配送车辆只能到达一定距离范围内的物资需求点,为了提高抢险物资配送的效率,需要假设抢险物资配送车辆出发点的布置多于火灾受灾点。

(3) 抢险物资配送车辆选址时间忽略不计^[5]。

(4) 更新后的火灾情景信息比之前的火灾情景信息更加准确。

1.2 基于贝叶斯更新的权重系数确定

利用加权贝叶斯算法将物资配送多目标规划问题转变成单目标规划问题。假设,当火灾受灾情景 w 发生时,已知某一可观察时刻火灾灾情信息 θ 发生的概率,可通过以往火灾灾情的数据得出物资配送多目标规划模型 $p_{\theta|w}$,即 $p_{\theta|w}$ 已知。当火灾灾害发生时,可以通过观察受灾点破坏程度^[6]得到灾区损失条件概率图,也就是说可以通过观察火灾灾情得到不同时段特定信息 $\theta^{(s)}$,以便于及时确定对受灾点遇到情景 w 的发生概率。假设, s_{\max} 为最大的观测时刻,运用贝叶斯定理可以得到观测时刻 s 时火灾灾害情景 w 的发生概率为:

$$p_s^w = \begin{cases} p_w, & s=1; \\ (p_w p_{\theta(s)} | w), & s=2, 3, \dots, s_{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

利用相关系数计算受灾点情景 w 的权重系数:

$$W_{ki} = |\Omega(I_i, J)| = \left| \frac{\text{cov}(I_i, J)}{M \sqrt{D(I_i) D(J)}} \right|. \quad (2)$$

式中: I 为火灾受灾点 i 的集合, $i \in I$; J 为抢险物资配送车辆出发点 j 的集合, $j \in J$; K 为抢险物资存储点 k 的集合, $k \in K$; M 为抢险物资配送车辆的车型 m 的集合, $m \in M$; $\Omega \in \omega$ 为火灾情景 ω 的集合, $\Omega \in \omega$; S 为火灾灾情观察时刻 s 的集合, $s \in S$ 。

1.3 基于灾情更新的火灾灾后抢险物资单目标配送模型

由多元统计分析方法建立抢险物资配送模型。从抢险物资配送的及时性、有效性、公平性以及经济性四方面出发,模型的效率、公平和成本的目标函数为:

$$\begin{cases} \min(G_1^{(s)}, G_2^{(s)}, G_3^{(3)}) s \cdot t; \\ G_1^{(s)} = \sum_i \sum_j \sum_m \sum_w p_s^w T_{ij} g_m z_{ijm}^w + (s-1) \times H; \\ G_2^{(s)} = \sum_i \sum_k \sum_w p_s^w u_{ik}^w; \\ G_3^{(s)} = \sum_j \sum_m c_{jm} x_{jm} + \sum_i \sum_j \sum_m \sum_w p_s^w T_{ij} f_m z_{ijm}^w. \end{cases} \quad (3)$$

式中: x_{jm} 表示安排抢险物资配送车辆 m 在出发点 j 的数量。 z_{ijm}^w 表示在情景 w 下负责出发点 j 到火灾受灾点 i 物资配送的车辆 m 的数量。 y_{ijkm}^w 为情景 w 下抢险物资 k 通过配送车辆 m 由出发点 j 到火灾受灾点 i 的配送数量。 u_{ik}^w 为情景 w 下火灾受灾点 i 对抢险物资 k 的未满足需求量。

物资配送模型的约束条件为:

$$x_{jm} \leq U_{jm}, \quad \forall j, m; \quad (4)$$

$$\sum_i z_{ijm}^w \leq x_{jm}, \quad \forall j, m, w; \quad (5)$$

$$\sum_k w_k y_{ijkm}^w \leq V_m z_{ijm}^w, \quad \forall i, j, m, w; \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_m y_{ijkm}^w \leq d_{ik}^w, \quad \forall i, k, w; \quad (7)$$

$$u_{ik}^w = d_{ik}^w - \sum_j \sum_m y_{ijkm}^w, \quad \forall i, k, w; \quad (8)$$

$$D_{ij}^w = \begin{cases} T_{ij}, & A_{ij}^w = 1 \\ +\infty, & A_{ij}^w = 0 \end{cases}, \quad \forall i, j, w; \quad (9)$$

$$z_{ijm}^w \begin{cases} \geq 0, & D_{ij}^w \leq T \\ = 0, & D_{ij}^w > T \end{cases}, \quad \forall i, j, m, w; \quad (10)$$

$$x_{jm} \text{ 非负整数}, \quad \forall j, m; \quad (11)$$

$$z_{ijm}^w \text{ 为非负整数}, \quad \forall i, j, m, w; \quad (12)$$

$$y_{ijkm}^w \geq 0, \quad \forall i, j, k, m, w. \quad (13)$$

式中: T_{ij} 为抢险物资配送车辆出发点 j 到受灾点 i 的距离, T 为抢险物资配送车辆出发点对受灾点的距离覆盖范围的阈值,也就是说抢险物资配送车辆出发点 j 只对距离覆盖范围 T 以内的受灾点进行抢险物资配送,对距离覆盖范围超过 T 的受灾点不安排抢险物资配送, g_m 为抢险物资配送车辆 m 在单位距离内的配送时间, f_m 为抢险物资配送车辆 m 单位距离的配送成本, c_{jm} 为抢险物资配送车辆 m 在出发点 j 的单位增设成本, U_{jm} 为抢险物资配送车辆 m 在出发点 j 最大规模, w_k 为抢险物资存储点 k 的单位重量, V_m 为抢险物资配送车辆 m 的最大装载重量, d_{ik}^w 为情景 w 下受灾点 i 对抢险物资 k 的需求, p_w 为情景 w 的初始发生概率, p_s^w 为火灾灾情观察时刻 s 情景 w 的发生概率, H 为每两个观察时刻之间的固定时间间隔, A_{ij}^w 为情景 w 下抢险物资配送车辆出发点 j 到受灾点 i 的连通性。为简单起见, A_{ij}^w 只能取 0 或 1,当抢险物资配送车辆出发点 j 到火灾受灾点 i 连通时取 1;当抢险物资配送车辆出发点 j 到火灾受灾点 i 不连通时取 0。 D_{ij}^w 为情景 w 下抢险物资配送车辆出发点 j 到火灾受灾点 i 的有效距离;当配送路线连通时, D_{ij}^w 等于实际距离 T_{ij} ,当配送路线不相通时, D_{ij}^w 取无穷大。

在式(3)到式(13)中,式(3)为火灾灾后抢险物资配送模型效率目标、公平目标以及物资未满足率。为火灾灾后抢险物资配送模型成本目标。式(4)为配送车辆在出发点的最大规模的限制约束。式(5)为配送物资车辆的使用量小于拥有量。式(6)为车辆对抢险物资的最大承重约束。式(7)为抢险物资

的供应量应当小于需求量。式(8)是未满足需求量的表达式。式(9)是有效距离的表达式。式(10)是最大覆盖范围面积的限制约束,同时确保了抢险物资配送路线的连通性,当有效距离大于阈值时,出发点 j 到火灾受灾点 i 不安排车辆。

根据物资配送模型的约束条件,确定火灾灾后抢险物资单目标配送模型如下所示:

$$L = \min_{j_m} (G_1^{(s)}, G_2^{(s)}, G_3^{(s)}) s \cdot t \cdot u_{ik}^w \quad (14)$$

2 用遗传算法对灾后抢险物资配送模型求解

本文使用的遗传算法将火灾灾后抢险物资配送模型的解视为一个整体,可以有效降低种群进化阶段陷入局部最优解的概率,模型求解步骤如下:

在遗传算法中,染色体编码采用特定的实值编码方法^[7]。每个染色体由四组序列构成:第一个序列有 $T \times n$ 个基因位, T 为受灾点火灾营救阶段数, n 为受灾需求点的个数($n = \text{length}(C)$),该序列对应每个火灾受灾点营救阶段已编号的救援点。所配送的物资是受灾点急需用品, H 为最大直升机数;第二个序列长度为 $T \times n$,该序列与每个受灾点营救阶段已编号的救援点相互对应。所配送的物资是普通物品, K 为最大车辆数量;第三个序列长度为 $T \times H$,该序列的基因位与每个阶段已编号直升机相对应, P 为候选抢险物资配送中心的数量;第四个序列长度为 $T \times H$,该序列的基因位与每个阶段已编号的车辆相对应^[8],本文在遗传算法中采用这样的编号方法,可以快速地处理灾后抢险物资配送模型中的约束条件:

(1)运用惩罚函数对抢险物资配送的车辆和物资点储存中心进行容量约束。

(2)建立初始种群。利用遗传算法常用函数中 crtbase 与 crtbp 函数创建初始种群。首先运用 crtbase 函数建立两个向量^[9]:一个长度是 $2T \times n$,由 $T \times n$ 个基数为 H 的基本符号 $\{0, 1, 2, \dots, H-1\}$ 和 $T \times n$ 个基数为 K 的基本符号 $\{0, 1, 2, \dots, K-1\}$ 组合而成;另一个长度为 $T \times (H+K)$,由 $T \times (H+K)$ 个基数为 p 的基本符号 $\{0, 1, 2, \dots, K-1\}$ 组合而成。再用 crtbp 函数建立拥有同种元素的两个行数, chrom_1 和 chrom_2 矩阵行数为种群规模。

(3)计算适应度。利用适应度函数 $f_i = 1/\sum_{j=1}^2 w_j Z_j(i)$,选择概率 $P_i = f_i/\sum_{i=1}^L$ 。其中: $Z_j(i)$ 为第 i 条染色体的第 j 个目标函数值; w_j 是 j 目标函数值的权重比例^[10]。

(4)物资在受灾点之间均衡分配操作如下。

选择操作:运用随机抽样与基于多元统计分析法相结合。随机抽样能使所有属性保持多样性并且稳定持久。基于多元统计分析法相可选择出最合适个体并且持续繁殖,可以增加选取策略的有效性。

交叉操作:为了维持属性的多样性,利用交叉重组策略,选取较大破坏性的交叉算子来促进遗传算法对解空间的搜寻。

变异操作:为增加遗传变异概率 P_m 的种群多样性,使用多样性可变化的变异概率,即在遗传

算法前期为扩大属性属性,将空间 P_m 取值最大,在遗传算法后期使 P_m 取值最小。根据上述操作,完成物资在受灾点之间均衡分配^[11-12]。

3 模型仿真实验

模型仿真实验设计了由1个抢险物资配送点和5个火灾受灾点构成的抢险物资配送网络体系,在配送网络中抢险物资配送点 $k=0$ 与各个火灾受灾点 $i=1, 2, 3, 4, 5$ 之间的路线(图3)。

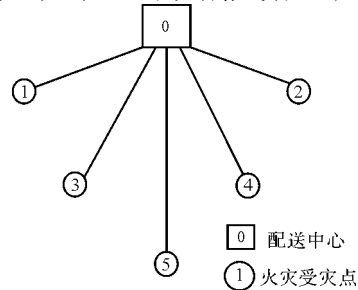


图3 抢险物资配送网络图

每个运输周期可用的抢险物资配送车辆为2辆,每辆车可装载60 t的抢险物资,在规划的周期内对各个火灾受灾点进行A、B两种物资的补充需求(表1、表2)。表3是为A、B两种物资的补充未达到要求而产生的惩罚成本系数。

表1 各个火灾受灾点对A、B两种物资的需求量(t)

物资种类	受灾点1	受灾点2	受灾点3	受灾点4	受灾点5
A	90	70	50	40	100
B	28	30	15	30	30

表2 各周期A、B两种物资的供应量(t)

物资种类	第1d	第2d	第3d	第4d
A	110	140	190	190
B	80	100	110	120

表3 惩罚成本系数

物资种类	第1d	第2d	第3d	第4d
A	110	140	190	190
B	80	100	110	120

火灾灾后抢险物资配送模型运用遗传算法求解,并采用染色体编码可以有效的解决在较大规模中分调配送问题。利用第一阶段的求解方法,得到在本次实验中抢险物资配送可用路线,结合图3计算抢险物资运输天数和抢险物资运输成本(表4)。

表4 抢险物资可用路线及运送时间和运输成本

路线	时间/h	成本/千元
1	0.23	3.4
2	0.2	3
3	0.3	4.2
4	0.32	4
5	0.5	6

表5对比了3种抢险物资配送方法,对5个火灾受灾点两种类型资源的满足情况。分析表4、表5、表6可以看出,本文所提出的基于多元统计分析的火灾灾后抢险物资配送模型能够保证运输成本最小化和公平分配双目标,通过增加抢险物资运输车辆来增加每个火灾受灾点的物资配送,尤

其是可在较短的时间内得到首批配送关键性的救援物资。

表5 三种方法 A 资源配送方案对比

方法	周期	5 个受灾点资源满足率	总需求 满足率/%
文献[1]	1	0.84, 0.79, 0.84, 0.75, 0.56	85
	2	0.78, 0.68, 0.75, 0.67, 0.71	82
	3	0.88, 0.85, 0.87, 0.82, 0.86	86
	4	0.89, 0.89, 0.75, 0.94	93
文献[2]	1	0.84, 0.79, 0.89, 0.75, 0.56	84
	2	0.81, 0.79, 0.74, 0.69, 0.78	79
	3	0.84, 0.81, 0.89, 0.75, 0.56	85
	4	0.94, 0.86, 0.91, 0.84, 0.93	88
本文方法	1	0.88, 0.79, 0.99, 0.94, 0.86	92
	2	0.86, 1, 0.95, 1, 1	95
	3	1, 1, 1, 1, 1	100
	4	1, 1, 1, 1, 1	100

表6 三种方法 B 资源配送方案对比

方法	周期	5 个受灾点资源满足率	总需求 满足率/%
文献[1]	1	0.81, 0.81, 0.79, 0.76, 0.56	84
	2	0.78, 0.70, 0.83, 0.69, 0.71	86
	3	0.78, 0.85, 0.84, 0.68, 0.86	76
	4	0.78, 0.71, 0.77, 0.73, 0.71	83
文献[2]	1	0.92, 0.89, 0.71, 0.94	92
	2	0.86, 0.84, 0.91, 0.78, 0.61	87
	3	0.78, 0.68, 0.77, 0.69, 0.71	78
	4	0.92, 0.89, 0.61, 0.94	91
本文方法	1	0.8, 1, 1, 1, 1	96
	2	1, 1, 1, 1, 1	100
	3	1, 1, 1, 1, 1	100
	4	1, 1, 1, 1, 1	100

4 结 论

针对火灾灾后抢险物资的配送, 本文构建了基于多元统计分析的火灾灾后抢险物资配送模型。采用多元统计分析法分析火灾受灾点救援需求和配送路线连通随机性, 并建立抢险物资配送单目标规划模型, 采用惩罚函数处理模型中的约束条件, 完成物资在受灾点之间均衡分配。通过仿真实验综合分析可得出, 针对 A、B 两种物资的补充需求, 本文提出的配送方法效率相对更高。鉴于本文模型仅适用于物资配送, 在道路规划等方向还有待提高, 可以减少配送时间, 因此物资道路规划为今后的研究重点。

参考文献:

- [1] 付春光, 孙成军. 基于多配送情形下救援物资配送模型研究[J]. 物流科技, 2018, 41(10): 22-27, 31.
- [2] 黄辉, 吴翰, 杨佳祺, 等. 基于实时路况信息的灾后应急配送路径选择系统[J]. 系统管理学报, 2018, 27(1): 50-56.
- [3] 曹琦, 曹阳. 应急物资配送车辆调度模型与优化综述[J]. 计算机应用, 2018, 38(8): 282-288, 296.
- [4] 葛雪, 杨家其, 王海燕, 等. 应急物资配送网络弹性设计模型研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2018, 42(5): 17-21, 27.
- [5] 宋英华, 王莉芳, 杜丽敬, 等. 模糊条件下应急物资配送选址-多模式运输问题[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(7): 169-174.
- [6] 马兰, 陈筱勇. 对受灾区域红外图像优化识别仿真[J]. 计算机仿真, 2017, 34(4): 234-237.
- [7] 陈广胜, 董宝力. 基于改进遗传算法的物料配送多目标优化模型研究[J]. 现代制造工程, 2017, 23(7): 114-120.
- [8] 王挺, 郭敬倩, 张玉梅. 震后救援物资资源配送路径规划研究[J]. 计算机仿真, 2018, 35(1): 321-326.
- [9] 罗庆, 周军. 基于混合遗传算法的农产品物流配送路径优化[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 174-177.
- [10] 徐昌彪, 吕顺. ICN 中基于节点权重的缓存大小分配方案研究[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(1): 214-216.
- [11] 孙佰清, 朱晓鑫, 洪鑫磊. 基于合作博弈理论的应急物流协同机制研究[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 181-184.
- [12] 陈湛, 林勇. 大数据背景下台风灾害应急物流车辆调度优化仿真[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 194-197.

Research on Emergency Material Distribution Model after Fire Disaster Based on Multivariate Statistical Analysis

WANG Yingli

(The Department of Mathematics, Changzhi University, Changzhi 046000, China)

Abstract: The traditional material distribution method has the disadvantages of low efficiency of distribution materials and high distribution cost. In order to determine the emergency rescue route of emergency materials in a timely manner, and quickly deliver emergency materials to the fire disaster point, a multi-statistical analysis model of fire disaster relief materials distribution based on multivariate statistical analysis is proposed. In the modeling, the multivariate statistical analysis method is used to analyze the rescue demand of the fire disaster site and the randomness of the distribution route, and the limitation of the rescue coverage point to the maximum coverage of the disaster point. The weighted Bayesian algorithm is used to transform the multi-objective planning problem of material distribution into a single The goal planning problem is to establish a target planning model for the rescue material distribution order; the genetic algorithm is used to solve the model, and the penalty function is used to deal with the constraints in the model to achieve balanced distribution of materials between the disaster points. The results show that the proposed method can improve the efficiency of distribution of rescue materials and reduce the distribution cost.

Key words: multiple statistical analysis; fire; emergency materials; distribution model